

## PROSES VERIFIKASI BERDASARKAN PERFORMANCE STANDARD UNTUK SISTEM TAMBAT PADA JANGKAR

Harun Indra Kusuma<sup>1</sup>, Harun Indra Kusuma<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Gadjah Mada  
e-mail :<sup>1</sup>harunindrakusuma6@gmail.com, ,<sup>2</sup>harunindra94@mail.ugm.ac.id

### ABSTRACT

*In order to reduce the level of risk of work accidents in the oil and gas industry, a study and addition of a barrier to a critical element called the safety critical element (SCE) is required. Safety critical elements are the methods used to ensure the performance of the protective system runs as expected. The process of creating an SCE by determining what elements are critical. Identification of SCE is obtained by means of an assessment mechanism on several aspects that affect the critical level of the mooring system elements. The critical level of an element is composed of the role of the element on safety, the consequences in case of failure, and the availability of spare elements. The performance standard (PS) is used to assess the performance of the SCE by using the criteria contained in the applicable code and standards. The production of PS is very important in SCE, so that it can be a measuring parameter so that the suitability and effectiveness of this SCE study can be guaranteed and verified. The verification scheme ensures that the criteria in the PS have been implemented or are available. The verification scheme developed uses an asset integrity management system (AIMS) approach and life extensions. The mooring system is a system for securing ships to the terminal. The mooring system is divided into two parts, namely Components and Configuration. From the Mounting System the Component section is divided into four parts, namely anchors, buoys, lines, and hardware. The SCE that will be discussed is the mooring system at the anchor; the reason for choosing the mooring system at the anchor because in addition to the anchor it functions to secure the mooring from the fixed foundation on the seabed. In studies, no one has discussed the Safety Critical Element (SCE) on the anchor, starting from determining the Major Accident Hazard from the anchor to the verification process*

**Keywords :** Mooring systems, Performance standards, Safety critical elements, verification schemes

### INTISARI

*Dalam rangka mengurangi tingkat risiko kecelakaan kerja di industri minyak dan gas diperlukan suatu studi dan penambahan barrier, pada element yang kritis, yang disebut dengan safety critical element(SCE). Elemen kritis keselamatan merupakan metode yang digunakan untuk memastikan kinerja sistem pelindung berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Proses membuat suatu SCE dengan menentukan apa saja element yang kritis. Identifikasi SCE didapat dengan mekanisme penilaian terhadap beberapa aspek yang berpengaruh terhadap tingkat kritis elemen Sistem Tambat. Tingkat kritis elemen disusun dari peran elemen terhadap keselamatan, konsekuensi jika terjadi kegagalan, dan ketersediaan elemen cadangan. Performance standard (PS) digunakan menilai kinerja SCE dengan menggunakan kriteria yang ada dalam kode dan standar yang berlaku. Pembuatan PS sangatlah penting didalam SCE, agar dapat menjadi parameter yang mengukur sehingga kesesuaian dan keefektifan studi SCE ini bisa dijamin dan diverifikasi. Skema verifikasi memastikan kriteria dalam PS sudah dilaksanakan atau sudah tersedia. Skema verifikasi yang dikembangkan menggunakan pendekatan asset integrity management system (AIMS) dan life extension.*

*Sistem tambat merupakan sistem untuk mengamankan kapal ke terminal. Sistem tambat terbagi menjadi dua bagian yaitu Component, dan Configuration. Dari Sistem Tambat bagian Component terbagi menjadi empat bagian yaitu jangkar, pelampung, lines, dan hardware. SCE yang akan dibahas adalah Sistem Tambat pada jangkar, alasan dipilihnya Sistem Tambat pada jangkar karena selain jangkar berfungsi untuk mengamankan tambatan dari pondasi tetap di dasar laut. Pada penelitian – penelitian belum ada yang membahas mengenai Safety Critical Element (SCE) pada jangkar dari mulai menentukan Major Accident Hazard dari jangkar sampai dengan proses verifikasi.*

**Kata kunci :** Elemen kritis keselamatan, Sistem tambat Skema verifikasi, Standar kinerja

### 1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas ialah industri yang mengolah fluida, baik cair dan gas. Sifat dari fluida ini ialah mudah terbakar dan beracun, yang menjadikan industri ini menjadi industri dengan risiko yang tinggi. Risiko merupakan kombinasi antara *likelihood* (kemungkinan sebuah *event* terjadi) dengan konsekuensi yang dihadapi jika *event* terjadi (Siraj & Fayek, 2019). Ada suatu prinsip yang dikembangkan oleh asosiasi industri minyak dan gas di dunia, yaitu ALARP (*as low as Rational practicable*) yaitu mendahulukan dalam mengurangi risiko sampai batas yang dapat dipraktekkan. Risiko yang ada pada aset dikelola hingga batas bahwa manfaat lebih tinggi dari biaya mengurangi risiko tersebut. Istilah ini mengacu pada pengurangan risiko ke tingkat yang serendah mungkin secara praktis. Sistem manajemen keselamatannya pun terus berevolusi, salah satu evolusi terakhir terkait *process*

*safety management* (PSM), *asset integrity management system* (AIMS) dan *healthy safety and environment* (HSE) manajemen adalah mengenai manajemen rintangan/ batasan (*barrier management*).

*Hazard* adalah sebagai keadaan atau kondisi atau materi yang memiliki potensi membahayakan, dan di dalam proses *safety hazard* merupakan kemungkinan terjadinya insiden dengan akibat yang tidak diinginkan (Baybutt, 2003). *Bow tie analysis* yaitu suatu metode yang *representative* dalam mengurangi konsekuensi maupun mengurangi risiko tinggi yang dapat terjadi atau sedang mengalami hambatan pencegahan atau mitigasi (Saud et al., 2014). Metode *bow tie analysis* dapat digunakan untuk membantu dalam komunikasi dan penilaian dasar – dasar sistem keselamatan kerja dalam suatu kejadian atau *event* (Mulcahy et al., 2017). *Bow tie analysis* yang pada awalnya dinamakan *butterfly diagram* adalah adaptasi dari tiga *conventional system safety techniques*, yaitu : *fault tree analysis*, *causal factors charting*, dan *event tree analysis* (Nolan, 2012). *Major accident hazard* (bahaya kecelakaan besar) mengacu pada bahaya apa pun yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan berdampak besar (DNV GL, 2014). Definisi *major accident hazard* (MAH) berarti penyimpanan dan aktivitas industri yang terisolasi di lokasi yang menangani (termasuk transportasi melalui pengangkutan atau pipa) bahan kimia berbahaya yang sama dengan, atau melebihi jumlah ambang batas yang ditentukan.

SCE atau elemen kritis keselamatan adalah bagian dari instalasi, atau fasilitas pabrik, yang sangat penting untuk menjaga keamanan dan integritas instalasi (DNV, 2003). Studi pada SCE mengharuskan pembuatan PS yang difungsikan sebagai *indicator* / parameter dalam mengukur kesesuaian dan keefektifan studi dapat diverifikasi dan dijamin berfungsi dengan baik. Parameter dalam PS diambil dari *international standard* maupun *client standard* (standar yang dibuat untuk satu perusahaan dan hanya berlaku pada perusahaan tersebut). SCE harus didasarkan pada sistem penilaian formal yang praktis dan kredibel, selain itu proses mengidentifikasi SCE dan standar kinerja yang ditetapkan bersama dengan strategi untuk penerapannya dalam aset perusahaan (Cortina et al., 2014). SCE meliputi berbagai struktur, peralatan, sistem, subsistem, atau komponen yang mana jika mengalami kegagalan akan berkontribusi sebagai penyebab dasar *major accident event* yang dianggap penting untuk keselamatan dan keutuhan suatu bangunan (Tremblaya et al., 2007). *Safety critical element* (SCE) memiliki arti yaitu elemen-elemen penting dalam menunjang keselamatan (Sharp et al., 2011). SCE adalah setiap bagian dari instalasi, instalasi atau program komputer yang kegagalannya akan menyebabkan atau berkontribusi pada kecelakaan besar, atau tujuannya adalah untuk mencegah atau membatasi efek dari kecelakaan besar.

*Performance standard* adalah suatu ketentuan terhadap setiap SCE yang dinyatakan secara kualitatif dan atau kuantitatif sebagai syarat performansinya (Tremblaya et al., 2007). Terdapat tiga hierarki dalam *performance standard*, yaitu (Finucane, 1994) : *risk based*, *scenario based*, dan *system based*. *Performance standard* adalah parameter yang diukur atau dinilai sehingga kesesuaian dan efektivitas dari SCE dapat diukur dan diverifikasi, selain itu kunci utama dari *Performance Standard* adalah *functionality*, *reliability*, *availability*, *survivability*, dan *interaction* (Yessekeyeva & Vandebussche, 2014). *Performance standard* yang dihasilkan untuk semua SCE harus dapat teridentifikasi.

Dalam mengembangkan skema verifikasi SCE dengan metodologi yang lengkap, elemen yang kritis diberikan nomor yang sudah terstandar sehingga memudahkan peneliti selanjutnya untuk mengetahui elemen kritis mana yang akan dilakukan verifikasi, dan Penomoran yang dilakukan berdasarkan tingkat risiko dari masing masing elemen (Cortina et al., 2014). Terdapat perbedaan antara verifikasi SCE dengan sertifikasi SCE (Aldeen, 2016). Perbedaan terjadi pada beberapa hal yang mendasar antara lain: tujuan, teknik pembuatan *performance standard*, serta dokumen yang akan dilengkapi. SCE ketika dibangun boleh jadi sama dengan beberapa acuan dalam industri minyak dan gas di seluruh dunia.

Sistem tambat merupakan sistem untuk mengamankan kapal ke terminal. Penambatan diartikan mengolah gerak kapal sedemikian rupa untuk menyandarkan kapal ke dermaga sehingga kapal terbatas pergerakannya (Swamidas, 1991). Sistem tambat terbagi menjadi dua bagian yaitu component, dan configuration (Oregon Wave Energy Trust, 2009). *Mooring integrity management* (MIM) dari sistem tambat memiliki empat fase yang harus dilaksanakan yaitu (ABS, 2014) : *system description*, *system assessment*, *control measure*, dan *inspection plan and strategy*. *Mooring Integrity Management* perlu dilakukan agar kegagalan sistem tambat pada *floating production unit* (FPU) yang menyebabkan kapal melayang, riser pecah, penghentian produksi, dan pelepasan hidrokarbon bisa dihindari (DNV GL, 2014). Selain itu, MIM memiliki tujuan agar terjadi penurunan kegagalan pada sistem tambat meliputi *design assurance and independent verification*, *risk and reliability evaluation*, *materials and component testing*, *installation and repair*, *integrity management planning*, *inspection and monitoring*, *integrity assessment*, *mitigation*, *intervention and repair*, *failure response*, dan *life extension*. Adapun penelitian ini memiliki tiga tujuan yaitu Mengetahui bahwa sistem tambat pada jangkar dapat dikategorikan sebagai SCE, dapat membuat *performance standard* sesuai dengan code & standard yang berlaku, dan dapat membuat skema verifikasi sesuai dengan kaidah SCE.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah Sistem tambat pada jangkar.

### 2.2 Waktu Penelitian

Waktu yang digunakan untuk penelitian ini dimulai dari 15 Juli 2019 – 15 Desember 2019 di salah satu perusahaan minyak dan gas yang terdapat di Indonesia.

### 2.3 Langkah – langkah penelitian

Beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk menyelesaikan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Rincian tahapan disajikan sebagai berikut:

#### 1. Identifikasi Masalah

Langkah awal yang harus peneliti lakukan adalah mengidentifikasi masalah yang terjadi di sistem tambat pada Jangkar dan bagaimana cara menyelesaikan masalah yang terjadi Sistem Tambat Jangkar.

#### 2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menentukan parameter yang diperlukan dalam melakukan proses penelitian dengan menggunakan SCE. Selain itu penggunaan literatur berguna dalam memahami secara praktik tentang SCE dan tahapan-tahapan yang pernah dilakukan.

#### 3. Pengumpulan Data

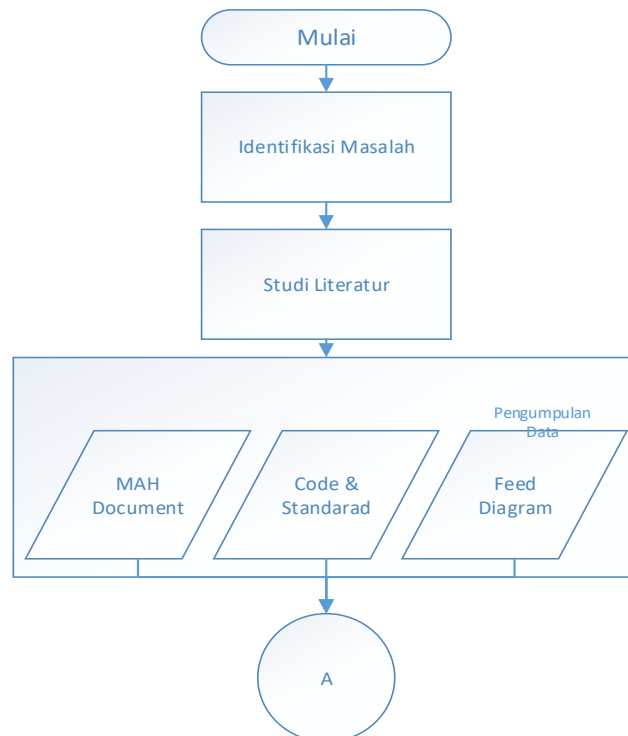
Penelitian ini mengembangkan PS, kriteria dan skema verifikasi berdasarkan kode dan standar yang sesuai dengan sistem pada komponen jangkar.

Data penelitian yang dikumpulkan berupa data perusahaan, data kajian studi terdahulu, dan standar yang berlaku pada perusahaan serta wawancara terhadap ahli. Data perusahaan berupa spesifikasi dari sistem tambat pada komponen jangkar, data perubahan meliputi data MOC. Data studi terdahulu meliputi studi tentang *safety, reliability, front end engineering design (FEED), hazard operability (HAZOP), hazard risk identification (HAZID), risk based inspection (RBI), major accident hazard (MAH) report*

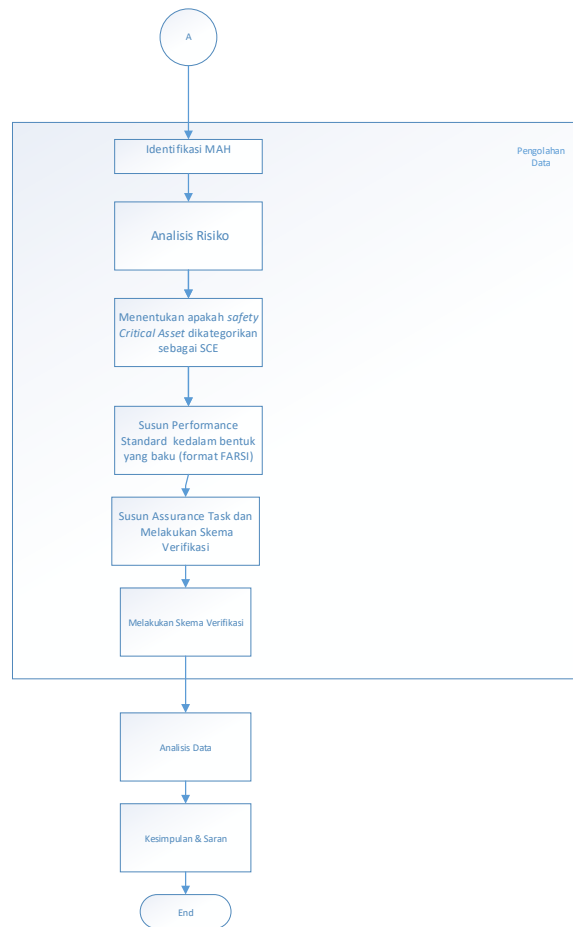
#### 4. Pengolahan Data

Proses pengolahan data terdiri :

- Identifikasi *major accident hazard (MAH)*
- Melakukan analisis risiko
- Menentukan apakah *safety critical asset* pada sistem tambat dikategorikan sebagai SCE
- Penyusunan *performance Standard*
- Menyusun *assurance task*
- Melakukan skema verifikasi



Gambar 1. Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian Lanjutan

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Major Accident Hazard

MAH merupakan bagian dari proses yang perlu dikendalikan. Pada sistem tambat terdapat kegiatan yang tergolong sebagai *major accident* (kecelakaan besar) yaitu peralatan penahan yang rusak pada sistem tambat. Peralatan penahan yang rusak pada sistem tambat dapat menyebabkan tiga akibat yaitu kerusakan peralatan, *collision / allision*, dan *grounding*. Maka dari itu kejadian peralatan penahan yang rusak adalah kejadian yang dapat menyebabkan kecelakaan besar.

MAH yang merupakan sumber bahaya (*hazard*) dengan jumlah besar yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan besar. Pada sistem tambat terdapat dari kecelakaan besar terdiri dari 11 yang tergolong sebagai *major accident*. Adapun kegiatan pada sistem tambat yang tergolong sebagai kecelakaan besar dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Major Accident Hazard Pada Sistem Tambat

No	Kategori MAH	Jumlah
1	Personnel Injury	18
2	Equipment Damage	17
3	Oil Pollution	5
4	Collision /Allision	13
5	Grounding	12
6	Windlass / Hydraulic motor failure	1
7	Delays/ comercial impact	1
8	Transport of unwanted marine organism	1
9	Properly damage	1
10	Hydraulic oil polution	1
11	Fire/explosion if combined with flammable gases	1

#### 3.2 Identifikasi Risiko dan Penentuan Sistem Tambat sebagai SCE

Identifikasi risiko dapat terjadi pada semua elem, namu pada penelitian ini difokuskan risiko yang terjadi pada sistem tambat. Identifikasi risiko awalnya dilakukan dengan melakukan tinjauan lapangan secara langsung, maupun dengan melakukan wawancara dengan *expert*. Kemudian membuat daftar indikator risiko– risiko yang

dapat terjadi baik skala kecil sampai dengan risiko dengan skala yang sangat tinggi.

Penilaian risiko dilakukan setelah diidentifikasi risiko – risiko yang mungkin terjadi dari perusahaan, dan diketahui bahwa risiko yang dapat terjadi pada sistem tambat terdapat 22 risiko. Penilaian risiko dilakukan berdasarkan tingkat kemungkinan terjadi dan tingkat keparahan dari risiko. Untuk tingkat probabilitas atau kemungkinan terjadinya risiko (*occurance*) dibagi menjadi lima golongan yakni sangat jarang, jarang, moderat, sering dan sangat sering. Sedangkan untuk tingkat keparahan / dampak (*severity*) dibagi juga menjadi lima golongan yakni dampak yang sangat kecil, kecil, menengah, besar dan sangat besar. Penilaian risiko dilakukan untuk mendapatkan *risk scoring*, dimana perhitungan *risk scoring* merupakan perkalian antara *occurance* dan *severity* dari tiap resiko.

Setelah dilakukan penilaian risiko, maka untuk memudahkan dalam mengetahui risiko yang paling prioritas untuk ditangani adalah dengan memasukkan setiap nilai *occurance* dan *severity* dari tiap risiko dimana sumbu x merupakan tingkat keparahan dari suatu risiko (*severity*) dan sumbu y merupakan tingkat probabilitas atau kemungkinan terjadinya suatu risiko (*occurance*).

Dari matriks risiko diketahui bahwa sistem tambat memiliki 22 risiko. Setelah diketahui risiko menurut levelnya, maka langkah selanjutnya adalah merespon risiko tersebut apakah risiko dapat diterima, dihindari, dikurangi atau ditransfer dengan pihak ketiga. Untuk risiko yang termasuk pada level tinggi, cara merespon risiko tersebut adalah menghindari risiko dengan pengelolaan yang aktif dan *review* rutin dimana harus melaksanakan suatu strategi agar dapat menghindari risiko yang mungkin terjadi.

### 3.3 Performance Standard

#### 3.3.1 Functionality

*Functionality* dalam pengisian PS berfungsi untuk menentukan fungsi spesifik yang harus dipenuhi oleh SCE sistem tambat pada jangkar. Adapun *functionality* SCE sistem tambat pada jangkar adalah untuk memungkinkan kapal mempertahankan posisi dalam operasi tambat.

Adapun tahapan dalam membuat *performance standard* ialah dengan menganalisis *functionality*, yaitu dengan menentukan kriteria – kriteria yang dibutuhkan untuk tercapainya suatu fungsi sistem tambat pada jangkar. Proses penentuan kriteria untuk menganalisis *functionality* sistem tambat pada jangkar menggunakan *code & standard* yang telah ditetapkan yaitu, API RP 16Q, API RP 2I, API RP 2SK, , API 53, *DNV Rules OS-E301 Section 4* , UK HSE Fourth Edition Guidance, dan 89 MODU Code Chapter 2.

#### 3.3.2 Availability/ Reliability

Bagian PS selanjutnya adalah *availability* dan *reliability*. *Availability* adalah menentukan suatu elemen sistem tambat pada jangkar mampu menjalankan fungsinya sesuai dengan kondisi yang ditentukan. *Reliability* adalah menentukan probabilitas SCE sistem tambat pada jangkar dapat memenuhi fungsinya tanpa adanya kegagalan.

Pada penyusunan PS bagian *availability* dan *reliability*, langkah – langkah yang harus dilakukan adalah:

1. Menentukan komponen penyusun dari sistem tambat pada jangkar yang terdiri dari :
  - a. Sistem pondasi tambatan permanen
  - b. *Mechanical, electrical, and hydraulic systems*
  - c. Struktur yang mendukung peralatan penahan, *fairleads* dan *winch*
  - d. *Towing Systems*
2. Kriteria yang digunakan adalah bahwa dari komponen – komponen elemen sistem tambat dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan berbagai macam kondisi, dan komponen – komponen tersebut dapat memenuhi fungsinya tanpa adanya kegagalan.

#### 3.3.3 Survivability

Sebagai sebuah sistem akan ada pengaruh luar maupun dari dalam yang dapat mempengaruhi keberlangsungan sistem. *Survivability* berupa kemampuan SCE sistem tambat pada jangkar berfungsi dengan baik pada saat kejadian tersebut berlangsung maupun setelah kejadian tersebut telah selesai. Kriteria untuk *survivability* untuk memastikan bahwa ketika ada sebuah kejadian yang membahayakan yang terjadi, sudah dapat diantisipasi mengenai langkah pencegahan yang diperlukan untuk menahan kejadian tersebut. Pada penyusunan PS bagian *survivability*, langkah – langkah yang harus dilakukan adalah :

1. Menentukan event (kejadian), berupa keadaan keadaan yang tidak diharapkan yang mungkin terjadi dan berpotensi menyebabkan kecelakaan besar dan/atau berpotensi menyebabkan kecelakaan atau bahaya meningkat kelevel yang lebih parah. Event pada sistem tambat terdiri dari :
  - a. Korosi
  - b. *Fatigue*
  - c. Adanya induksi
  - d. Cuaca parah
2. Komponen yang mengalami kejadian tersebut

3. Kriteria yang diperlukan adalah elemen sistem tambat dapat berfungsi dengan baik dengan berbagai macam kondisi kejadian.

#### 3.3.4 Interaction

Pada *interaction*, pada elemen sistem tambat pada jangkar berhubungan elemen pada SCE yang lain. Selanjutnya adalah menentukan jenis hubungan antara elemen sistem tambat dengan elemen SCE lainnya.

#### 3.4 Assurance Task

*Assurance task* menjembatani kriteria yang sudah dibangun pada PS, mulai dari fungsi, kehandalan dan ketersediaan, dan *survivability* menjadi sesuatu tindakan yang dapat mencegah, meningkatkan dan memastikan sistem berjalan dengan performa yang diharapkan. Assurance task dalam sistem tambat dengan pendekatan MIM sesuai (ABS, 2014) berupa *system description, assessment, control measure, dan inspection plan and strategy*

#### 3.5 Skema Verifikasi

Aktivitas verifikasi pada penelitian ini adalah kegiatan yang direncanakan pihak *verifier* untuk melakukan audit terhadap *assurance task* dan kriteria yang sudah dikembangkan oleh operator

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, sistem tambat pada jangkar dikategorikan sebagai SCE, karena berdasarkan perhitungan menggunakan risk matrix SCE sistem tambat termasuk risiko level tinggi.
2. Hasil pembuatan PS sistem tambat pada jangkar Kriteria PS meliputi aspek *functionality, availability/reliability, survivability*, kriteria – kriteria dari masing – masing aspek tersebut harus berdasarkan *code & standard* yang ditetapkan oleh Perusahaan Minyak dan Gas di Indonesia yaitu *Feed Document, API, ISO, dan OCIMF*. *Code & standard* tersebut harus dapat diterjemahkan dalam aktivitas yang dapat dipercaya dan memungkinkan diverifikasi.
3. Pengembangan skema verifikasi SCE sistem tambat pada jangkar menggunakan format assurance task dengan pendekatan mooring integrity management yang berguna untuk *design assurance and independent verification, risk and reliability evaluation, materials and component testing, installation and repair, integrity management planning, inspection and monitoring, integrity assessment, mitigation, intervention and repair, failure response, dan life extension*. Selain itu proses verifikasi harus berdasarkan code & standard yang berlaku meliputi API RP 2I, API RP 2SK, ISO 19901-7, dan OCIMF-MEG3 2008.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir tesis ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta, Ibu Widiyastuti Sri Wiryanti dan Bapak Djaka Nugraha yang telah banyak mendukung dari segi doa dan materi untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Andi Rahadiyan Wijaya, S.T., M.Sc., Lic., Ph.D., selaku pembimbing akademik dan pembimbing tesis.
3. Kakak Eka, Abid, Sony, Bayu sebagai tim yang menyusun dan mengumpulkan data.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aldeen, R.B.F, 2016, *Independent Verification of Safety Critical Elements (SCE)*, Bureau Versitas.
- Baybutt, P. (2003). Major hazards analysis: An improved Method for Process Hazard Analysis. *Process Safety Progress*, 22(1), 21-26
- Cortina, M., Pavli, E., Antinolfi, G., La Rosa, L., Rainaldi, I., & Petrone, A. (2014). An overarching strategy for Safety Critical Elements Assessment and Management. *Society of Petroleum Engineers*.
- DNV GL. (2014). *DNV RP-H103 Modelling and Analysis of Marine Operations*. Norway: DNV GL.
- Finucane, M. (1994). The adoption of Performance Standards in Offshore Fire and Explosion Hazard Management. *Fire Safety Journal*, 23(2), 171-184.
- Mulcahy, M. B., Boylan, C., Sigmann, S., & Stuart, R. (2017). Using Bowtie Methodology to Support Laboratory Hazard Identification, Risk Management, and Incident Analysis. *Journal of Chemical Health and Safety*, 24(3), 14-20.
- Nitonye, I. M., Dick I F, & Erekosima A. (2014). Design of a Mooring System for an Offshore Structure: A case study of 5000 Tonnes Offshore Work Barge (WB). *International Journal of Engineering and Technology*, 4(12).
- Nolan, D. P. (2012). Specialized Reviews—Bow-Tie Analysis, Layers of Protection Analysis, and Safety Integrity Levels. *Safety and Security Review for the Process Industries*
- Oregon Wave Energy Trust. (2009). Advanced Anchoring and Mooring Study. *Oregon Wave Energy Trust*, 192
- Saud, Y. E., Israni, K. (Chris), & Goddard, J. (2014). Bowtie Diagrams in Downstream Hazard Identification and Risk Assessment. *Process Safety Progress*, 33(1), 26-35.

- Sharp, J. V., Terry, E. G., & Wintle, J. (2011, Juni). A Framework for the Management of Ageing of Safety Critical Elements offshore. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (pp 141-153). ASME
- Tremblaya, M. D., Ballesio, J. E., & Montaruli, B. C. (2007). Risk-Based Classification of Offshore Production Systems. *Offshore Technology Conference*
- Yessekeyeva, Z., & Vandenbussche, V. (2014, Maret). Performance standards for environmentally critical elements. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference on Health, Safety and Environment*.